

Los procesos ácido-base en los textos actuales y antiguos (1868-1955)

M^a Rut Jiménez Liso,¹ Esteban de Manuel Torres,² Francisco Salinas López³

Abstract

Nowadays, secondary textbooks show the same content and similar presentation forms as university textbooks. In this paper, the analysis of the content related to acid-base processes reveals the inefficiency of these repetitions of content in both levels. It complicates the learning reinforcing alternative conceptions in secondary and university students. However, this has not always been the case, historic secondary school textbooks (1868-1955) do not show the same content as historic university textbooks from the same period and neither one shows so many alternative concepts as actual textbooks.

Introducción

En trabajos anteriores (Jiménez-Liso, 2001; Jiménez-Liso, De Manuel y Salinas, 2001), hemos estudiado algunas concepciones que manejan los estudiantes universitarios relacionadas con conceptos u operaciones concernientes a los ácidos y las bases. Hemos encontrado que la mayoría de los estudiantes universitarios consideran que las sustancias neutras son inertes e inocuas para el organismo humano, identifican los valores bajos del pH con ácidos fuertes, utilizan un razonamiento causal secuencial para justificar el pH del punto de equivalencia en una valoración ácido-base con fuerzas relativas diferentes (primero se forma la sal y posteriormente ésta se hidroliza) o no consideran la situación de equilibrio de las dos formas del indicador durante todo el proceso de valoración así como el intervalo de viraje

del mismo reproduciendo algunas definiciones dadas a lo largo de la historia (Monzón, 1917).

Entre los factores que pueden influir en la construcción, por los alumnos, de las mencionadas concepciones alternativas, uno importante puede ser el tratamiento que se da a los conceptos citados en los libros de texto, usados tanto en la educación secundaria (enseñanza media en algunos países, 12-18 años) como en la universitaria.

En este artículo se da a conocer el estudio comparativo entre una muestra de libros universitarios y de secundaria (enseñanza media, 12-18 años) actuales y otra de comienzos del siglo XX, con el objetivo de indagar si en todos aparecen los mismos contenidos relacionados con los procesos ácidos-base y son tratados de forma similar. La razón principal de explorar y comparar estos libros, por niveles y por épocas, es examinar el tratamiento que se le concede a estos contenidos y observar las posibles relaciones entre los conceptos que se exponen en los textos y las concepciones que manifiestan los alumnos que los utilizan expuestas en un trabajo previo (Jiménez-Liso, De Manuel y Salinas, 2001).

El objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio comparativo (por niveles y por épocas) de los contenidos sobre los ácidos y las bases de las dos muestras de libros: los utilizados a comienzos del siglo XX y los de la actualidad. Uno de los contenidos que indagaremos se centra en las teorías ácido-base que proponen. Nos parece conveniente resumirlas brevemente: las primeras clasificaciones que se hicieron de los ácidos y de las bases utilizaban criterios macroscópicos (sabor característico, son corrosivos, disuelven los metales, provocan cambios de color en los indicadores, etcétera). Posteriormente, comenzaron las primeras interpretaciones teóricas y moleculares, como la de Lémery (siglo XVII) quien explicaba las propiedades físicas y químicas de los ácidos y las bases en función de la forma de los átomos y la de Lavoisier (1775) quien justificaba las transformaciones entre los ácidos y las bases debidas a la combinación con el oxígeno. Una vez puesta la base

¹ Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales. Universidad de Almería. España. Correo electrónico: e.m.mrjimene@ual.es

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada. España.

³ Departamento de Química Analítica. Universidad de Extremadura. Badajoz. España.

Enviado: 26 de septiembre de 2001; **aceptado:** 30 de enero de 2002.

de la teoría de la disociación electrolítica, Arrhenius (1887) relacionó las propiedades de los ácidos con la presencia de iones hidrógeno libres y las de las bases con los iones hidróxido. Las reacciones ácido-base, según Arrhenius, consisten en la combinación de los iones hidrógeno del ácido e hidróxido de la base, para formar agua. En 1909 Franklin propuso una teoría sobre los sistemas disolventes: se define como ácido toda sustancia que, disuelta en el disolvente (que puede ser diferente del agua), cede por disociación directa o por interacción con el disolvente el catión característico de éste y como base a toda sustancia que, en iguales condiciones, cede el anión característico del disolvente. En 1923 Brønsted y Lowry definen los ácidos como las especies que tienen tendencia a donar protones y las bases como las especies capaces de aceptar protones, de modo que, las reacciones ácido-base se definen como reacciones de transferencia de protones. Este mismo año, Lewis (1923) definió como ácido cualquier molécula, radical o ion capaz de aceptar uno o más pares de electrones por tener su capa electrónica incompleta y, de forma complementaria, base es aquella especie capaz de ceder uno o varios pares de electrones; es decir, los procesos que no transcurran en el seno de disolventes o que no supongan transferencia de protones pueden ser considerados como procesos ácido-base en el seno de la teoría de Lewis.

Lux y Flood (1939) propusieron una definición más concreta para justificar los procesos de transferencia de iones óxido que tenían lugar en el suelo a altas presiones. Para ello, definieron como base toda sustancia capaz de ceder iones óxido y como ácido a las sustancias capaces de aceptarlos. También en 1939, Usanovich define los ácidos como las sustancias que forman una sal con las bases por un proceso ácido-base, que da cationes o que se combina con los aniones o con los electrones. De forma similar, las bases son las sustancias que reaccionan con los ácidos, que dan aniones o electrones o que se combinan con los cationes.

Parece innecesario justificar por qué analizamos los libros de texto, pues es indiscutible la importancia que los profesores y los alumnos les conceden en las clases de Ciencias, como muestran algunos estudios (Chiappeta *et al.*, 1991; Otero, 1990): casi todos los profesores utilizan un solo libro de texto la mayor parte del tiempo en clase. La utilización casi exclusiva de este material en el aula plantea la necesidad de analizar este recurso didáctico para indagar la influencia que ejerce sobre el aprendizaje de los

conceptos. Posiblemente en el nivel universitario la dependencia con respecto a los libros de texto no sea tan importante, pero raramente se recomienda a los alumnos la consulta de diversos libros.

El aumento considerable de las investigaciones sobre el análisis de los libros de texto en los últimos años pone de manifiesto la importancia que se les concede no sólo en la práctica docente, sino también por parte de los investigadores en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Atendiendo a esta importancia, en el presente artículo se pretende analizar el tratamiento que se le concede a los contenidos sobre los procesos ácido-base en los libros y así poder compararlos con las concepciones que manifiestan los alumnos universitarios (De Manuel y otros, 2000).

La escasez de trabajos dedicados al estudio de los textos universitarios, relacionándolos con los de otras épocas y comparándolos con los de otros niveles y, en particular en lo que se refiere a los procesos ácido-base es un incentivo para realizar el estudio que se presenta en este artículo.

Metodología

Instrumento para el análisis de contenidos

Para el planteamiento de este trabajo se requirió el diseño y la utilización de un protocolo que nos permitiera, no solamente el análisis de los contenidos de los libros, sino también comparar los resultados con los obtenidos en la exploración de las concepciones de los alumnos universitarios y de los licenciados que aspiran a ser futuros docentes de secundaria (enseñanza media). Como indica Jiménez-Valladares (1998), la metodología del análisis de contenidos permite transformar un documento en una serie de datos cuantitativos y analizables, también comparables con los datos cuantitativos obtenidos de la citada indagación sobre las concepciones alternativas de los alumnos universitarios acerca de los procesos ácido-base.

En el presente artículo se analizan algunos libros de Química del nivel universitario muy conocidos y utilizados por los alumnos de este nivel y algunos del nivel medio sobre un tema de indudable interés para todos los químicos como son los conceptos relacionados con los procesos ácido-base. Por otro lado, la evolución de esos mismos conceptos será analizada a través de los libros universitarios y de secundaria (enseñanza media, 12-18 años) de comienzos del siglo XX.

Para la realización del trabajo se ha elaborado un protocolo de 15 items con el fin de analizar sistemáticamente en los libros los mismos contenidos estudiados en los alumnos universitarios: las definiciones de ácidos y bases, los límites de aplicación de las teorías, los conceptos de neutralización e hidrólisis, la relación entre el pH y la cantidad de sustancia, el equilibrio y el intervalo de viraje del indicador, varios aspectos relacionados con las valoraciones y con las disoluciones reguladoras. Los items y sus criterios de valoración dicotómica se muestran en el Anexo III. El protocolo diseñado puede ser utilizado con cualquier texto escrito. Por ello, ha sido aplicado también a una muestra de exámenes escritos de licenciados que aspiran al cuerpo de profesores de secundaria (o enseñanza media, De Manuel y otros, 2000).

Muestras de libros analizadas

a) Libros actuales de los niveles universitarios y de secundaria (12-18 años)

Se ha seleccionado una muestra representativa de los textos más utilizados por los alumnos de la licenciatura de Química de algunas universidades españolas. Un criterio para su selección fue que en dichos libros apareciera algún capítulo dedicado expresamente a los conceptos de ácido y base ya que algunos de los más utilizados en materias como Química Analítica utilizan estos conceptos teóricos pero no le dedican un capítulo especial en donde muestren los fundamentos. Por esta razón los 15 textos analizados se distribuyen por materias de la siguiente manera: 11 de Química General, tres de Química Analítica y uno de Química Inorgánica.¹

Para completar la muestra se han analizado cinco libros del segundo curso del Bachillerato español que corresponde a alumnos con edades comprendidas entre los 17 y los 18 años, editados después de la Reforma Educativa española, pues éste es el único curso en el que aparece explícitamente un capítulo dedicado a las reacciones de transferencia de protones como consta en los currículos oficiales españoles.

Los textos analizados son los que figuran en el Anexo I (entre corchetes se expone la clave que será

utilizada en lo sucesivo). Recomendamos a los lectores de diferentes países que apliquen el protocolo a los libros más utilizados tanto en universidad como en enseñanzas preuniversitarias (secundaria, enseñanza media), por ejemplo, sería conveniente que los lectores mexicanos aplicaran el protocolo al libro *Química analítica general* de Gaston Charlot, de la editorial Toray-Masson, por ser uno de los más conocidos y utilizados en sus universidades.

b) Libros antiguos (más de cincuenta años) de los niveles universitario y de secundaria (12-18 años)

Para analizar los libros antiguos se han seleccionado 15 libros editados con fechas comprendidas entre 1868 y 1944. Nueve son textos universitarios de diferentes materias y seis libros de los niveles superiores de secundaria (enseñanza media, 12-18 años). Los resultados obtenidos serán comparados con los correspondientes a los de los libros actuales.

Por semejanza con los criterios sobre el patrimonio artístico-cultural —el valor de la antigüedad se asigna a objetos de más de 50 años (Riegel, 1987)—, han sido considerados como libros antiguos los que tienen más de 50 años. En lo sucesivo, aparecerán las referencias a estos libros con la notación *H* (históricos para distinguirlos de los actuales, *A*). Los textos analizados son los que figuran en el Anexo II.

En los textos antiguos, tanto universitarios como de secundaria (enseñanza media), no existen capítulos específicos de conceptos relacionados con los ácidos y con las bases, pues estos libros dedican capítulos a exponer las características de distintos compuestos en los que se incluyen breves pinceladas sobre su aislamiento y utilización a lo largo de la historia. También explican sus propiedades y aplicaciones industriales, lo que manifiesta el carácter descriptivo y práctico de estos libros de Química. Como señalara Bachelard (1948), los libros antiguos (del siglo XVIII) hablaban de la naturaleza, de la vida cotidiana, con un lenguaje accesible al lector.

Los textos antiguos analizados pertenecen a la biblioteca de dos profesores españoles de Química, de enseñanzas medias, de comienzo y de mediados del siglo XX respectivamente. Son libros usados tanto en su formación universitaria como a lo largo de su amplia experiencia profesional (enseñanza media y universidad), por lo que se consideran una buena muestra de los libros utilizados por los docentes y los alumnos españoles de esas épocas. Las muestras son diferentes: en la de libros antiguos hay un libro de Química Física y otro de prácticas de laboratorio,

¹ A pesar de que el estudio no se centra exclusivamente en las teorías ácido-base, nos ha parecido interesante analizar este texto de Química Inorgánica porque en él se incluye un desarrollo histórico muy completo de todas las teorías ácido-base conocidas.

mientras que no hay ningún texto de esas características en la muestra actual. La razón principal es que en los libros actuales de Química Física o de prácticas de laboratorio no se incluyen capítulos extensos dedicados a los ácidos y a las bases; es decir, la información sobre estos contenidos que recibe un alumno universitario actual proviene de los libros de Química General, Inorgánica y Analítica, mientras que un alumno de comienzos de siglo recibía la información sobre los procesos ácido-base de una gama más amplia de textos y de asignaturas.

El texto de 10SHQG-1917 es un libro de secundaria (para alumnos de 17 años aproximadamente) pero por sus contenidos bien podría considerarse de universidad. En el prólogo, su autor comenta que es una adaptación resumida de un texto publicado específicamente para sus alumnos universitarios, con la idea de que esta versión resumida pudiera servir de ayuda a los alumnos del último curso de secundaria o de enseñanza media (17-18 años).

Por último, se ha incluido un texto de 1955 con la idea de observar la transición de los libros antiguos a los actuales. Este texto de enseñanza media sí dedica un capítulo a los equilibrios ácido-base.

La comparación de los libros antiguos con los actuales constituye el principal interés didáctico de aplicar el protocolo a los libros antiguos. También servirá para poner de manifiesto la evolución de los textos de Química desde 1868 hasta la actualidad.

Resultados de la aplicación del protocolo a las dos muestras

Los resultados obtenidos de la aplicación del protocolo han sido expuestos en un trabajo previo (Jiménez-Liso, 2001). A continuación resumimos los resultados más característicos, clasificándolos por temas:

Clasificación de sustancias. Definiciones ácido-base

La mitad de los textos actuales estudiados hacen referencia a las definiciones de ácido y base al nivel macroscópico, es decir, basadas en fenómenos observables; de igual modo, las definiciones fenomenológicas aparecen en casi todos los libros históricos de secundaria (12-18 años), pero sólo en el 33% de los libros universitarios antiguos. Sería deseable que todos los libros actuales proporcionaran una primera presentación de estos temas de forma descriptiva, pues ofrecerían al lector un primer criterio utilizado históricamente para la clasificación de estas sustancias.

En ningún texto actual se incluyen las primeras

Tabla 1. Porcentaje de libros actuales e históricos que describen las teorías ácido-base (N. Univ. Act. = 15; N. Sec. Act. = 5; N. Hist. = 16).

Teorías ácido-base	Textos que describen la teoría			Textos que muestran las limitaciones de la teoría	
	Univ. Act.	Sec. Act.	Hist (Univ. y Sec.)	Univ. Act.	Sec. Act.
Arrhenius	80%	100%	60%	33%	100%
Brönsted-Lowry	86.67%	100%	6.67%	33%	20%
Lewis	80%	6.67%	6.67%	6.67%	—
Sistemas disolventes	26.67%	—	—	—	—
Lux-Flood	13.33%	—	—	6.67%	—
Usanovich	13.33%	—	—	—	—
Pearson	6.67%	—	—	—	—

interpretaciones históricas al nivel teórico y molecular (Lemery, Lavoisier, etcétera) sino que se produce un salto histórico hasta la primera interpretación teórica (teoría de Arrhenius). Los libros históricos son diferentes, pues en algunos (12.5%) sí aparecen estas descripciones teóricas (por ejemplo, la de Lavoisier), lo que manifiesta que estos libros necesitan exponer esas primeras concepciones para, partiendo de ellas, justificar las limitaciones de su aplicación y las ventajas de las nuevas teorías.

Otro aspecto importante en este apartado son las teorías ácido-base que aparecen en los libros. En la tabla 1 se muestra el porcentaje de libros actuales e históricos que describen algunas teorías ácido-base.

Como se pone de manifiesto en la tabla 1, las teorías de Arrhenius, de Brönsted-Lowry y de Lewis son a las que se concede mayor importancia en los textos universitarios actuales, aplicando más la de Brönsted-Lowry, debido a que describe mejor los procesos en disoluciones acuosas, tal como comenta uno de los textos universitarios actuales. Las demás teorías parecen tener un carácter secundario. Es llamativo que los libros de secundaria (12-18 años) actuales presenten la teoría de Lewis, pues contradice las directrices de los currículos oficiales españoles (MECD, 2001) en los que sólo se incluye un capítulo dedicado a las *reacciones de transferencia de protones*.

A pesar de mostrar la evolución histórica de las teorías ácido-base, en muchos libros universitarios no se describen las limitaciones de cada teoría. Hay

que destacar que en todos los libros actuales de secundaria (12-18 años) estudiados se describen los límites de la teoría de Arrhenius, como se exige en los currículos oficiales españoles; sin embargo, sólo en uno de ellos se muestran los límites de la de Brönsted-Lowry.

Los saltos históricos, la baja aplicación de otras teorías diferentes a las de Arrhenius y de Brönsted-Lowry y la escasa presencia de límites de aplicación en las teorías pueden provocar que los alumnos les concedan más importancia a unas teorías que a otras y consideren que algunas son absolutas (sin límites), con lo que se les estaría induciendo a una visión opuesta a la de ciencia como construcción que conlleva una cierta provisionalidad.

Concepto de neutralización

En otros trabajos realizados por nosotros (Jiménez-Liso, 2001 y Jiménez-Liso y otros, en prensa) hemos encontrado que el término neutralización se utiliza con un doble sentido: por una parte, como el proceso que lleva a un producto neutro ($\text{pH} = 7$ en las disoluciones acuosas) y, por otra, referido a cualquier reacción ácido-base, con independencia de que ésta sea o no cuantitativa y de la acidez o la basicidad del producto final. Esta polisemia produce o refuerza errores conceptuales o vicios de razonamiento entre los alumnos que, por ejemplo, asignan el valor 7 al pH del punto de equivalencia de cualquier valoración ácido-base (Jiménez-Liso, 2001). Esto nos ha llevado a analizar el uso que los libros hacen del término “neutralización”.

Sólo el 13% de los textos universitarios actuales analizados restringe el concepto de neutralización a su sentido etimológico; es decir, a cualquier proceso ácido-base que conduce a un producto final neutro. Es llamativo que el 67% de los textos actuales universitarios y el 100% de los de secundaria (enseñanza media) analizados refuerza la idea de que la neutralización es cualquier proceso ácido-base (independientemente de que el valor del pH de la disolución final sea o no 7 o que el producto final sea ácido o básico). Con respecto a los libros históricos, el 50% definen la neutralización en su sentido etimológico, tan sólo el 18.75% aplica este término a la reacción de cualquier ácido con cualquier base y el 31% restante no utiliza este concepto ni lo define. Este resultado manifiesta que estos libros tienen más limitado el término neutralización. La causa puede ser la utilización exclusiva de la teoría de Arrhenius para definir los conceptos sobre ácidos y bases, y esta

teoría es la única que restringe la neutralización a la obtención de disoluciones neutras ($\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$).

La utilización, en el aula, del término neutralización como la reacción entre cualquier ácido con cualquier base, conlleva serias dificultades para los estudiantes universitarios, quienes asignan el valor 7 al pH del punto de equivalencia de cualquier valoración ácido-base (Jiménez-Liso, 2001, y De la Guardia, 1985).

Concepto de pH

Respecto al pH , en todos los libros actuales se expresa que es un número relacionado con $[\text{H}_3\text{O}^+]$ presente en la disolución. Sin embargo, sólo tres textos de los analizados (uno de ellos de secundaria, enseñanza media) explicitan que los valores del pH pueden ser mayores que 14 o menores que 0 pero, por razones prácticas, se maneja sólo el intervalo 0-14. En otros dos libros (6AUQG, 12AUQG) se pone de manifiesto lo contrario, por ejemplo: *La escala de pH va desde 0 a 14, desde las disoluciones fuertemente ácidas a las fuertemente básicas... Nótese que en una disolución acuosa $\text{pH} + \text{pOH} = 14$.*

El 75% de los libros históricos no define ni utiliza el pH . Algunos de ellos eran anteriores a 1909, fecha en la que Sørensen introdujo la definición de pH . De los que sí lo utilizan, tres son libros universitarios (19%), dos de 1929 y uno de 1944. Esto pone de relieve que el uso del pH no se implantó inmediatamente a la propuesta de Sørensen o los autores de libros no consideraron necesario incluirlo en sus textos.

Fuerza de los ácidos y de las bases

Poco menos de la mitad (40%) de los textos actuales consideran de forma absoluta las propiedades de acidez y basicidad. Sólo el 50% de ellos manifiesta de forma explícita que la acidez o la basicidad de una sustancia depende de con cuál se la compare. Siendo coherentes con la teoría de Arrhenius, el 37.5% de los textos de principios de siglo consideran que una sustancia es ácida por sí misma, es decir, no tienen en cuenta el carácter relativo de los ácidos y de las bases que fue introducido tras la interpretación de Brönsted-Lowry en la que este carácter dependía de con qué sustancia se comparase. Tampoco tienen en cuenta las constantes de equilibrios y se confunde fuerza con cantidad. Esta idea ha sido uno de los obstáculos que se tuvieron que superar históricamente, pues Bergman y Kirwan (siglo XVIII) relaciona-

ban la fuerza de los ácidos y de las bases con la cantidad de sustancias que reaccionan.

Conservación de la cantidad de sustancia

En un trabajo previo (Jiménez-Liso, 2001) hemos detectado que muchos alumnos no advierten que la cantidad de sustancia en una muestra no se altera por la adición de otra sustancia que no intervenga en el proceso químico (por ejemplo el agua en las valoraciones ácido-base). Esta operación, de tipo piagetiano, parece estar muy extendida en el público en general (hemos observado en las cafeterías que muchas personas añaden agua al café para reducir la cafeína). A esta operación la hemos denominado “conservación de la cantidad de sustancia”.

El protocolo aporta información sobre el control de cuatro variables que intervienen en muchos procesos químicos: fuerza, concentración, volumen y cantidad. Un objetivo es indagar si los libros refuerzan la operación de conservación de la cantidad de sustancia en los procesos ácido-base (por ejemplo, al diluir con agua durante las valoraciones) o por el contrario se centran en considerar la concentración, la fuerza o el volumen exclusivamente en dichos procesos.

En el protocolo se han introducido dos items relacionados con esta operación, uno centrado en la adición de ácidos y bases a una disolución reguladora y otro en las valoraciones con la intención de buscar las posibles causas de una concepción alternativa muy habitual en los alumnos universitarios, quienes consideran que no se puede añadir agua al matraz de una valoración porque varía la concentración de la disolución-problema, sin tener en cuenta, que lo fundamental a determinar es la cantidad de sustancia que hay en el matraz y, por tanto, se puede añadir agua sin que ésta varíe.

Solamente el 26% de los textos universitarios actuales relaciona el método analítico de las valoraciones con la determinación de la cantidad de sustancia. Por el contrario, el 40% consideran que lo importante a determinar en una valoración es la concentración de dicha sustancia y un 20% explica que es necesario conocer tres variables de la expresión $V \cdot N = V' \cdot N'$. Con respecto a los libros de segundo de Bachillerato, todos explican que las valoraciones ácido-base son un método para determinar la concentración de ácido o de base en una disolución. De ellos, dos (40%) se centran en la citada expresión analítica para determinar dicha concentración.

Se han obtenido resultados muy diferentes para

los libros históricos. El 62.5% de ellos no muestra ningún aspecto relacionado con esta importante aplicación analítica. Por ejemplo, de los dos textos de Química Analítica (3UHQA-1925 y 9UHQA-1923) analizados, el más antiguo sí la menciona pero el otro no. Casi todos los que incluyen las valoraciones (37.5%) explican que lo necesario a determinar en éstas es la cantidad de sustancia, mientras que sólo uno destaca como primordial conocer la concentración de la sustancia-problema (no le basta con conocer la cantidad sino que necesita la concentración).

Resulta positivo constatar que más de la mitad (57%) de los textos más utilizados por los alumnos universitarios actuales insisten en que la efectividad de una disolución reguladora depende de la cantidad de ácido o base que se añada en contra de la idea que manejan muchos universitarios de que depende exclusivamente de la concentración o de la fuerza del ácido o de la base añadidos.

Otra diferencia significativa entre los resultados de las dos muestras de libros aparece en el análisis de los items relacionados con las disoluciones reguladoras: mientras que la mayoría de los textos actuales universitarios y de secundaria (87%) aplica y define estas disoluciones, en ninguno de los textos históricos aparece dicha aplicación analítica tan utilizada actualmente.

Equilibrios ácido-base

Con respecto a este tema, hay que destacar que sólo en dos libros universitarios actuales se incluyen todos los equilibrios que intervienen en una valoración (o en una reacción estequiométrica); por el contrario, en el 60% de ellos se pone de manifiesto que primero se forma la sal y, posteriormente, se produce la hidrólisis (razonamiento causal secuencial). Resultados similares pueden observarse en los libros de secundaria actuales; sin embargo, no explicitan que primero se forme la sal y luego ésta se hidrolice, sino que se hidroliza uno de sus iones. La utilización del término hidrólisis en las valoraciones puede reforzar el razonamiento causal secuencial antes descrito aunque se insista en que lo que se hidroliza es el ion; además, no se está considerando la hidrólisis en su sentido etimológico (ruptura de una sal por la acción del agua).

También los libros históricos que explican el proceso que transcurre en una valoración (18.75%) muestran un razonamiento causal secuencial pues exponen que primero se forma la sal y posteriormente se produce su hidrólisis.

Hidrólisis

Solamente cuatro libros universitarios actuales (27%) y todos los libros antiguos en los que aparece el concepto de hidrólisis (43.75%) ofrecen la definición etimológica: *desdoblamiento de un compuesto químico por la acción del agua*; el resto de los libros (universitarios y de secundaria) amplía esta definición a la reacción de cualquier especie (sea sal o ion) con el agua.

Indicadores ácido-base

En dos tercios de los textos universitarios actuales (67%) no se expresa la idea de que las formas ácida y básica del indicador coexisten siempre en equilibrio. En dos de los textos estudiados (8AUQG, 13AUQG) aparece la idea siguiente: *1/4 si se conoce el pH al que cambia de una forma a otra 1/4 se puede determinar si una disolución tiene un pH mayor o menor que ese valor*. En estos libros tampoco se expresa con claridad que existe un intervalo de viraje del indicador en el que el color que se aprecia es mezcla de los dos sino que se suelen utilizar algunas frases, por ejemplo: *cambio súbito ... brusco* (6AUQG); *1/4 dramático* (8AUGQ); *1/4 a un valor definido de pH* (11AUQG). Hay que destacar que los aspectos relacionados con los indicadores aparecen de forma correcta en el 80% de los libros de segundo de Bachillerato; sin embargo, no se explicita en ninguno de ellos que, en el intervalo de viraje, el color que se aprecia es una mezcla de los dos colores.

Los libros históricos muestran resultados similares aunque con la diferencia de que más de la mitad de ellos (56,5%) no mencionan los indicadores. En el resto se pone de relieve la ausencia del equilibrio y el intervalo de viraje.

Estudio comparativo de los resultados de las diferentes muestras

a) Libros actuales de los niveles universitario y medio

Todos los conceptos que se indagan en el protocolo aparecen en la mayoría de los textos de secundaria y se tratan de forma muy similar a como se presentan en los libros del nivel superior. En los currículos oficiales españoles para la Educación Secundaria Obligatoria (12-16 años) y para el Bachillerato (16-18 años), se establece que los conceptos sobre los procesos ácido-base se reduzcan al segundo curso del Bachillerato aparecen las *reacciones de transferencia de protones*. Los libros de segundo de Bachillerato analizados incluyen la mayoría de los conceptos que figuran en el protocolo aunque en los contenidos

mínimos decretados por los currículos oficiales no los consideren explícitamente, como por ejemplo, las disoluciones reguladoras. Lo que llega a ser más preocupante es que incluyan, en un capítulo dedicado a las reacciones de *transferencia de protones*, las definiciones de ácidos y de bases de la teoría de Lewis (transferencia de pares de electrones).

El estudio de los procesos ácido-base se concentra en pocos cursos: en segundo de Bachillerato y en los primeros cursos universitarios fundamentalmente, lo que puede ocasionar dos inconvenientes: por un lado, al repetir en varios cursos los mismos conceptos, se produce una pérdida de tiempo si esos conceptos se tratan de igual forma en dos niveles educativos distintos. Varias investigaciones sobre las concepciones de los alumnos universitarios (Jiménez-Liso, 2001; Cros, 1988) ponen de manifiesto que resulta obvia la ineficacia de esta repetición y puede ser desmotivadora para los alumnos. Por otro lado, se tiende a adelantar el estudio de algunos conceptos que, por su dificultad, debieran ser incluidos en cursos superiores; por ejemplo, todos los libros de segundo de Bachillerato analizados incorporan al capítulo de “reacciones de transferencia de protones” las valoraciones de ácidos débiles con bases fuertes o viceversa (equilibrios múltiples). Teniendo en cuenta que los equilibrios químicos no se estudian hasta el capítulo inmediatamente anterior al de ácidos y bases, resulta que los alumnos que acaban de conocer la existencia de los equilibrios tienen que controlar todos los presentes en este proceso complejo.

Además, y lo que es bastante perjudicial, para que el alumno no tenga que realizar el esfuerzo mental de controlar todas esas variables, se propone una “estrategia didáctica” que consiste en considerar los equilibrios como reacciones sucesivas (primero se forma la sal y luego ésta se hidroliza). Esta estrategia didáctica provoca que los alumnos de secundaria (enseñanza media) utilicen un razonamiento causal secuencial que cala muy hondo en los alumnos y que se evitaría si se suprimieran del currículo de Bachillerato los procesos ácido-base en los que participa más de un equilibrio y posponer estos procesos para niveles superiores.

b) Libros históricos universitarios y los de secundaria

En los libros históricos de secundaria no aparecen la mayoría de los conceptos analizados que sí incluyen casi todos los textos universitarios: en ninguno de ellos se cita la hidrólisis, sólo uno menciona las

valoraciones ácido-base y en dos se comentan algunos aspectos de los indicadores ácido-base. Estos resultados indican que los autores de la época consideraban que algunos conceptos debían reservarse para los niveles universitarios.

c) Libros actuales y los históricos

En primer lugar, hay que hacer un comentario especial sobre las enormes diferencias encontradas entre los libros de secundaria actuales y los de comienzos del siglo XX. Los autores de comienzos de siglo consideraban que la presentación de algunos conceptos debía retrasarse hasta los niveles universitarios (valoraciones, indicadores, hidrólisis y disoluciones reguladoras). Sin embargo, los libros actuales de segundo de Bachillerato incluyen todos estos conceptos mostrándolos de forma muy similar a como aparecen en los libros universitarios actuales. Un resultado similar para conceptos biológicos es destacado por González (2001), quien comenta que los libros de texto de Biología van asumiendo contenidos más complejos para edades cada vez más tempranas; por ejemplo, los conceptos de producción y productividad aparecían exclusivamente en los textos universitarios en los años 80-85, se adelantó en COU (último curso de secundaria anterior a la reforma española, 18 años) en los años 90-95 y, actualmente aparece en los textos del cuarto curso de la Educación Secundaria Obligatoria (16 años).

Desde un punto de vista didáctico, sería interesante marcar diferencias en cuanto a los contenidos que aparezcan en los libros de secundaria y los incluidos en los universitarios, reservando para este último nivel los contenidos en los que se ha demostrado la dificultad de aprendizaje para los estudiantes. De este modo, en secundaria (enseñanza media) se tratarían sólo las valoraciones de ácido fuerte con base fuerte y se reservarían las que requieren equilibrios múltiples para los niveles universitarios. Tomando como ejemplo los libros históricos, se evitarían las polisemias en los términos “hidrólisis” y “neutralización” y para las disoluciones reguladoras se podría presentar su utilización pero no su funcionamiento pues requiere el control de varios equilibrios.

La falsa creencia de muchos profesores (sobre todo en España después de la implantación de la Reforma Educativa a partir de la década de los años 90) de que los libros cada vez tienen menos contenidos, incluso, de que el nivel de los libros es cada vez menor se opone a los resultados destacados en los

párrafos anteriores. Esta idea de los profesores españoles puede estar fundamentada en su observación del aumento y mejora de las ilustraciones en los libros que vienen a ocupar el 50% de su superficie (Jiménez-Valladares y Perales, 2001) pero no por el análisis de la evolución que han sufrido los contenidos a lo largo de las últimas décadas.

La aparición de avances tecnológicos y contenidos cada vez más “actuales” y “novedosos” puede ser una estrategia de *marketing* bien conocida por las editoriales para que cualquier profesor se decida por su libro y no por el de otra editorial, del mismo modo que cada vez se utilizan más conceptos científicos en la publicidad (Jiménez-Liso y otros, 2000; Campanario y otros, 2001). Esta propaganda de algunos conceptos hace necesario su estudio en niveles educativos cada vez más elementales, sin embargo, su tratamiento debe ser cuidadosamente respetuoso con adecuar el nivel de exigencia del concepto al nivel de desarrollo cognitivo de los alumnos a los que vaya destinado. Los resultados presentes en este artículo ponen de manifiesto que estos aspectos no se han respetado.

Conclusiones

Un mayor cuidado en el empleo de los términos y de los conceptos por parte de los documentos escritos que manejan los alumnos, mejoraría la correcta comprensión y utilización de algunos conceptos relacionados con los ácidos y con las bases. Con ello se evitaría inducirles o reforzarles algunas concepciones alternativas como una visión ahistórica y apromblemática de la ciencia al no utilizar adecuadamente el desarrollo histórico de las teorías científicas, confusiones provocadas por la utilización de diferentes significados de un mismo término (hidrólisis, neutralización, etcétera), por la escasa consideración del carácter matemático del concepto de pH o por no insistir en la conservación de la cantidad de sustancia en los procesos de dilución.

Por otro lado, el análisis comparativo de las muestras de libros pone de relieve la conveniencia de marcar diferencias entre los contenidos que aparezcan en los libros de secundaria y en los de universidad, porque con ello se evitaría tener que utilizar “estrategias didácticas” como el razonamiento causal secuencial para exponer contenidos con un excesivo nivel de exigencia para la secundaria (enseñanza media), como son los equilibrios múltiples en los que hay que controlar muchas variables. La perspectiva histórica del tratamiento de estos contenidos en los

libros revela que no es preciso adelantar ni repetir contenidos para conseguir un aprendizaje significativo. ▀

Bibliografía

- Bachelard, G., *La formación del espíritu científico*. Argos, Buenos Aires, 1948.
- Campanario, J.M.; Moya, A. y Otero, J., Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad, *Enseñanza de las Ciencias*, **19** (1) 45-56, 2001.
- Chiappeta, E.L.; Fillman, D.A. y Sethna, G.H., A quantitative analysis of high school Chemistry textbooks for scientific literary themes and expository learning aids, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**, 939-951, 1991.
- Cros, D. y otros, Conceptions of second year university students of some fundamental notions in Chemistry, *International Journal of Science Education*, **10** (3) 331-336, 1988.
- De la Guardia, M.; Salvador, A.; López, J. y Carrión, J.L., Errores conceptuales en la concepción de los equilibrios ácido/base, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 61, 1985.
- De Manuel, E.; Jiménez-Liso, M.R. y Salinas, F., Las concepciones sobre ácidos y bases de los opositores al cuerpo de profesores de Secundaria, *Alambique*, **24**, 66-76, 2000.
- González, F., Biología para las nuevas generaciones: nuevos contenidos y continentes, *Alambique*, **29**, 63-70, 2001.
- Jiménez-Liso, M.R., *Contenidos relacionados con los procesos ácido-base: diagnóstico y propuestas didácticas al nivel universitario*, Tesis doctoral publicada en CD-ROM. Servicio de publicaciones de la Universidad de Granada, 2001.
- Jiménez-Liso, M.R.; de Manuel, E.; González, F. y Salinas, F., La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula, *Enseñanza de las Ciencias*, **18** (3) 451-461, 2000.
- Jiménez-Liso, M.R.; De Manuel, E. y Salinas, F., Las concepciones sobre los ácidos y las bases: su tratamiento en los textos de los niveles universitario y medio, en: Martín, M. y Morcillo, J.G. (eds.), *Reflexiones sobre la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Actas de los XIX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Ed. Nivola, Madrid, 2001. p. 454-462.
- Jiménez-Liso, M.R.; de Manuel, E. y Salinas, F. (en prensa). La neutralización ácido-base a debate, artículo enviado a la revista *Enseñanza de las Ciencias*.
- Jiménez-Valladares, J.D., *Los medios de representación gráfica en la enseñanza de la Física y de la Química*, Tesis doctoral (no publicada), Universidad de Granada, 1998.
- Jiménez-Valladares, F.D y Perales, F.J., Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito e ilustraciones de los libros de Física y Química de la ESO, *Enseñanza de las Ciencias*, **19** (1) 3-19, 2001.
- M.E.C.D. Real Decreto 3473/2000 de 29 de Diciembre por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la ESO, *Boletín Oficial del Estado*, nº 14 de 16 de enero de 2001, p. 1810-1858, 2001 (www.boe.es).
- Monzón, J., *Elementos de Química General*. Imp. y lib. Eulogio de las Heras, Sevilla, 1917.
- Otero, J., Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión, *Enseñanza de las Ciencias*, **8** (1) 17-22, 1990.

Anexo I

- Andrés, D.M. y otros *Química. 2º de Bachillerato. Ciencias de la Naturaleza y de la Salud*. Editex, Madrid, 1997 [1AS].
- Babor, J.A. E Ibarz, J., *Química General Moderna*. Marín, Barcelona, 1979 [9AUQG].
- Barrow, G., *Química General*. Ed. Reverté, Barcelona, 1974 [12AUQG].
- Brown, T.L.; Le May, H.E. y Bursten, B.E., *Química. La Ciencia Central*. Prentice-Hall, México, 1993 [8AUQG].
- Burriel, F.; Lucena, F. y Arribas, S., *Química analítica cualitativa*. Ed. Paraninfo, Madrid, 1994 [3AUQA].
- Del Barrio, J.I. y Montejo, C., *Química. 2º de Bachillerato. Ciencias de la Naturaleza y de la salud-tecnología*. Ed. SM, Madrid, 1997 [3AS].
- Esteve, *Curso de Química*. ECIR, Valencia, 1974 [4AUQG].
- Gray, H. y Gilbert, P.H., *Principios básicos de Química*. Ed. Reverté, Barcelona, 1972 [6AUQG].
- Gutiérrez Ríos, E., *Química*. Ed. Reverté, Barcelona, 1986 [13AUQG].
- Hogg, J.C.; BickeL, C.L.; Nicholson, M. y Wik, H.V. *Química. Un enfoque moderno*. Ed Reverté, México, 1970 [10AUQG].
- Kolthoff, I.M., *Análisis químico cuantitativo*. Nigar, Buenos Aires, 1979 [7AUQA].
- Luder, W.F.; Shepard, R.A.; Vernon, A.A. y Zufanti, S., *Química General*. Alhambra, Madrid, 1966 [5AUQG1].

- Mahan, B.H., *Química General. Curso Universitario*. Adison-Wesley Iberoamericana, México, 1986 [1AUQG].
- Masterton, W.L.; Slowinski, E.J. y Stanitski, C.L., *Química general superior*. Interamericana, Madrid, 1984 [2AUQG].
- Moeller, T. *Química Inorgánica*. Ed. Reverté, Barcelona, 1988 [15AUQI].
- Morcillo, J.; Fernández, M. y Carrión, V.E., *Química. 2º Bachillerato*, Anaya, Madrid, 1998 [5AS].
- ORO, L.A. y otros, *Química. 2º Bachillerato. Ciencias de la Naturaleza y de la salud*. Santillana, Madrid, 1997 [4AS].
- Ruiz, A. y otros, *Química. 2º Bachillerato*. McGraw-Hill, Madrid, 1997 [2AS].
- Skoog, D.A., West, D.M. y Holler, F.J., *Fundamentos de Química Analítica*. Ed. Reverté, Barcelona, 1997 [14AUQA].
- Whitten, K.W. y Gailey, K.D. *Química General*. Interamericana, México, 1986 [11AUQG].
- De la Puerta, G., *Tratado de Química Inorgánica con las aplicaciones a la Farmacia e Industria*. Lib. de los Sucesores de Hernando, Madrid, 1923 [6UHQI-1923].
- Domenech, J., *Nociones de Química*. Imp. Hijos de Francisco Vives, Valencia, 1911 [12-SHQG-1911].
- Hessenland, J., *Prácticas de Química Industrial*. Manuel Marín Ed. Barcelona, 1944 [5UHQIn-1944].
- Küspert, F. (S.F.), *Tratado de Química y Mineralogía*. Zaragoza [14SHQG-sf].
- León Maroto, A., *Elementos de Química. 6º curso común a Ciencias y Letras*, AGESA, Madrid, 1955 [15SHQG-1955].
- Márquez, B., *Nociones de Química para alumnos de segunda enseñanza*, Sevilla, 1905 [13SHQG-1905].
- Monzón, J., *Elementos de Química General*. Imp y Lib. Eulogio de las Heras, Sevilla, 1917 [11SHQG-1917].
- Ostwald, G., *Elementos de Química*. Gustavo Gili Ed. Barcelona, 1917 [10SHQG-1917].
- Piñerúa, E., *Tratado elemental de Química. Sus aplicaciones a la Medicina, artes e industrias*. Imp. Ramona Velasco, Madrid, 1916 [2UHQI-1916].
- Regnault, M.V., *Cours élémentaire de Chimie*. Garnier Frères Ed, Paris, 1868 [1UH-1868].
- Senter, J., *Nociones de Fisicoquímica*. Ed. Poblet, Madrid, 1931 [4UHQF-1931].
- Treadwell, F.P. y Treadwell, W.D., *Tratado de Química Analítica*, Manuel Marín Ed. Barcelona, 1925 [3UHQA-1925].

Anexo II

- Bargalló, M., *Nociones de Física y Química*. Ed. Sardá, Guadalajara, 1935 [16SHQG-1935].
- Casares, J., *Tratado de Análisis Químico*. Tip. El "eco de Santiago", Madrid, 1923 [9UHQA-1923].
- Danneel, H., *Electroquímica y sus fundamentos Fisico-químicos*. Ed. Labor, Barcelona, 1928 [7UHQF-1928].
- De Gregorio, A. y Bermejo, L., *Química para médicos y naturalistas*. Imp. Ramona Velasco, Madrid, 1929 [8UHQG-1929].

Anexo III. Protocolo para el análisis de textos sobre conceptos relacionados con los ácidos y con las bases

Contenidos	Criterios de valoración dicotómica
1. Definiciones basadas en fenómenos observables (nivel macroscópico).	Se considera positiva (S) cuando el texto haga referencia explícita al sabor de los ácidos y de las bases; a que los ácidos disuelven los metales y son corrosivos; a que los ácidos y las bases reaccionan con sus antagonicos y en proporciones determinadas pueden neutralizar sus propiedades; a veces, en contacto producen efervescencia; hacen cambiar el color de algunas sustancias.
2. Primeras interpretaciones teórico-moleculares.	Se considera positiva (S) cuando hagan referencia explícita a las primeras interpretaciones teórico-moleculares dadas por Lemery o por un médico de Caen (s. XVII) en la que se explica que los ácidos son puntiagudos y las bases redondas agujereadas.
3. Utilización de teorías.	En este ítem se contabilizará el número de teorías que aparecen en el texto y si muestra los límites de aplicación.
4. Restringe el concepto de neutralización a su sentido etimológico.	Se considera positiva (S) si expone la idea de que neutralización es cualquier proceso que conduce a una disolución con un pH final de 7. Se considera negativa (N ₁) si identifica reacción de neutralización con cualquier proceso ácido-base o (N ₂) con reacción estequiométrica entre un ácido y una base.

Anexo III. Protocolo para el análisis de textos sobre... (continuación)

Contenidos.	Criterios de valoración dicotómica
5. Una sustancia es ácida, básica o neutra según con qué sustancia se la compare.	Se considera positiva (S) si se manifiesta de forma explícita que los términos de acidez, basicidad y neutralidad son relativos.
6. Relacionan pH con la cantidad de ácido presente en una disolución.	Se considera positiva (S) si dan la definición de Sørensen insistiendo en la idea de que el pH es un número relacionado con $[H_3O^+]$. Se considera negativa si relacionan el pH exclusivamente con la fuerza de los ácidos (N).
7. El pH, según su definición puede tener cualquier valor, positivo o negativo.	Se considera positivo (S) si, simplemente se incluye la definición matemática y (S_2) si se indica que puede tener cualquier valor, aunque, por razones prácticas, se maneja sólo el intervalo 0-14. Se considera negativo (N) si se dice explícitamente que el pH sólo puede tener los valores 0-14.
8. Las formas ácida y básica de un indicador coexisten siempre en equilibrio.	Se considera positiva (S) si refuerzan esta idea de forma explícita expresando el equilibrio del indicador en todos los procesos en los que participe. Se considera negativa (N) si no se expresa el equilibrio del indicador en todos los procesos en los que participe o si de forma explícita o implícita consideran que los indicadores están constituidos por sustancias que reaccionan con la solución valorada solamente cuando ha reaccionado toda la sustancia que se analiza o trata de determinar (N_2).
9. Existe un intervalo de viraje en el que el color que se aprecia es el de la mezcla de las dos formas del indicador.	Se considera positiva (S) si, además de explicar que existe un intervalo de viraje donde el pH viene dado aproximadamente por las proporciones 1/10 o 10/1 de las formas del indicador, se explicita que el color que se aprecia es la mezcla del color de las dos formas y que fuera de este intervalo se observa el color de la forma que predomine. Se considera negativo (N) si de forma explícita o implícita se pone de manifiesto que el viraje del indicador se produce de forma brusca para un determinado valor del pH (sin intervalo).
10. En una valoración basta con conocer la cantidad de sustancia presente en una disolución-problema.	Se considera positiva (S) si se hace hincapié en que lo mínimo necesario a determinar en una valoración es la cantidad de sustancia; por el contrario, se considera negativa (N_1) si destacan como fundamental conocer la concentración de la sustancia-problema, su volumen (N_2) o crean una excesiva dependencia de la expresión $V \cdot N = V' \cdot N'$ (es necesario conocer tres de las variables que en dicha expresión utilizan) (N_3).
11. En una valoración, o en una reacción estequiométrica, el equilibrio entre las especies químicas se da cualquiera que sea la cantidad o la proporción en la que se encuentre una de ellas.	Se considera positiva (S) si en todo momento se insiste en esta idea expresando todos los equilibrios en cualquier proceso ácido-base (incluidos agua e indicador). Se considera negativa (N) si de forma explícita o implícita se manifiesta que en una reacción estequiométrica (o en una valoración) primero se forma la sal ("que proviene de un ácido débil y base fuerte" o viceversa) y posteriormente se produce la hidrólisis.
12. El pH de una valoración depende de todos los equilibrios presentes en el proceso.	Se considera positiva (S) si en cualquier proceso tienen en cuenta todos los equilibrios y no sólo los que interesen para el apartado en cuestión (p. ej. hidrólisis). Se considera negativa (N_1) si se dice que en el punto de equivalencia el pH siempre es igual a 7, si se afirma que en el PE se forma una sal (pH = 7) pero la hidrólisis posterior hace variar este pH (N_2) o si se expresa que el pH en ese punto viene determinado por un exceso de valorante (N_3).
13. Definición etimológica de hidrólisis.	Se considera positiva (S) si únicamente se explica que hidrólisis es el desdoblamiento de un compuesto químico por la acción del agua y negativa (N) si también definen hidrólisis como la reacción de un ion con el agua.
14. Una disolución tampón regula el pH porque los iones que la forman reaccionan con los ácidos y bases que se adicionan. La acción reguladora del pH es efectiva siempre que no se añadan cantidades excesivas de ácidos y bases.	Se considera positiva (S) si se explicita que la acción reguladora se debe a la reacción de los iones que componen la disolución tampón con los ácidos y con las bases que se le añaden. Se considera negativa si se indica que los iones de la disolución reguladora "neutralizan" esos ácidos y bases añadidos pues esta expresión lleva implícita la idea de que estas disoluciones siempre regulan a un pH = 7 (N_1). Como criterio secundario positivo (S_2) se comprobará que insisten en la idea de que la adición de cantidades excesivas de ácidos o de bases pueden variar el pH de la disolución; por el contrario, se considera el criterio secundario negativo (N_2) el hecho de que se manifieste (explícita o implícitamente) que una disolución reguladora deja de ser efectiva si se añaden ácidos o bases concentrados, si se añaden ácidos o bases fuertes (N_3) o volúmenes elevados de ácidos y bases (N_4).
15. Los iones que forman una disolución tampón pueden tener cualquier proporción.	Se considera positiva (S) si tanto en la definición, en las expresiones matemáticas como en los ejemplos que se utilicen se explica de manera diversa y amplía la idea de que el pH al que se regula depende de la naturaleza de las sustancias que lo forman (su constante de equilibrio) y de la proporción en la que se encuentren los iones que lo componen. Se considera negativa si se reducen a las disoluciones formadas por cantidades equimolares de esos iones.